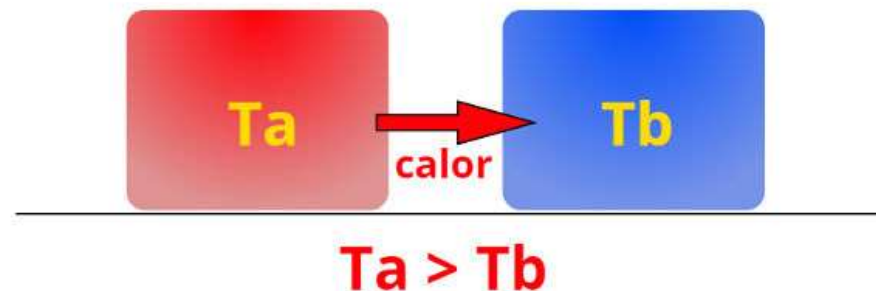
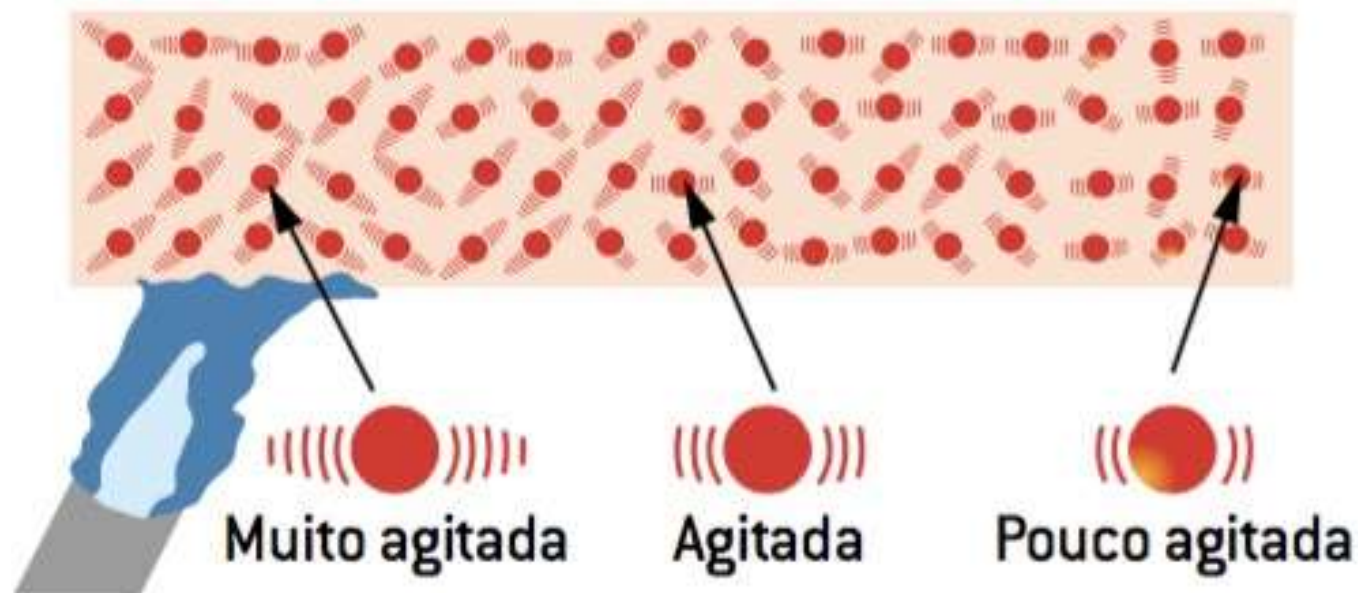
1. Relação com a termodinâmica

Os processos de transferência de calor devem obedecer:

- **Primeira lei:** conservação da energia
- **Segunda lei:** A energia não pode fluir de um corpo mais frio para um corpo mais quente (espontaneamente)

2. Condução

É a transferência de energia que flui de moléculas mais energéticas para moléculas adjacentes menos energéticas de uma substância

2. Condução

- A condução é o mecanismo pelo qual a energia se difunde pelos materiais (requer um meio material)
- É um processo lento, quando comparado a convecção
- Não há condução sem contato
- Mecanismos $\begin{cases} \text{condução molecular (colisão ou vibração)} \\ \text{condução por elétrons livre} \end{cases}$

Obs.:

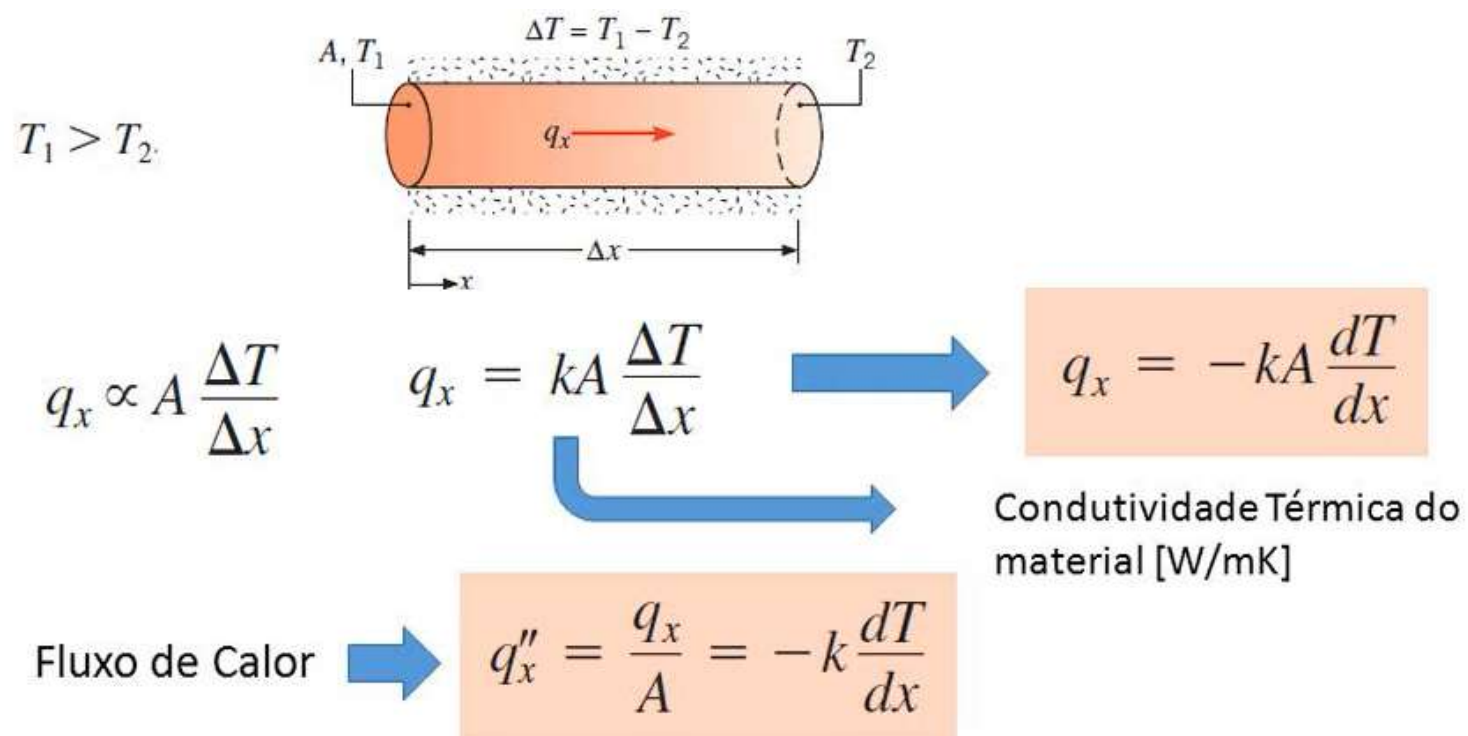
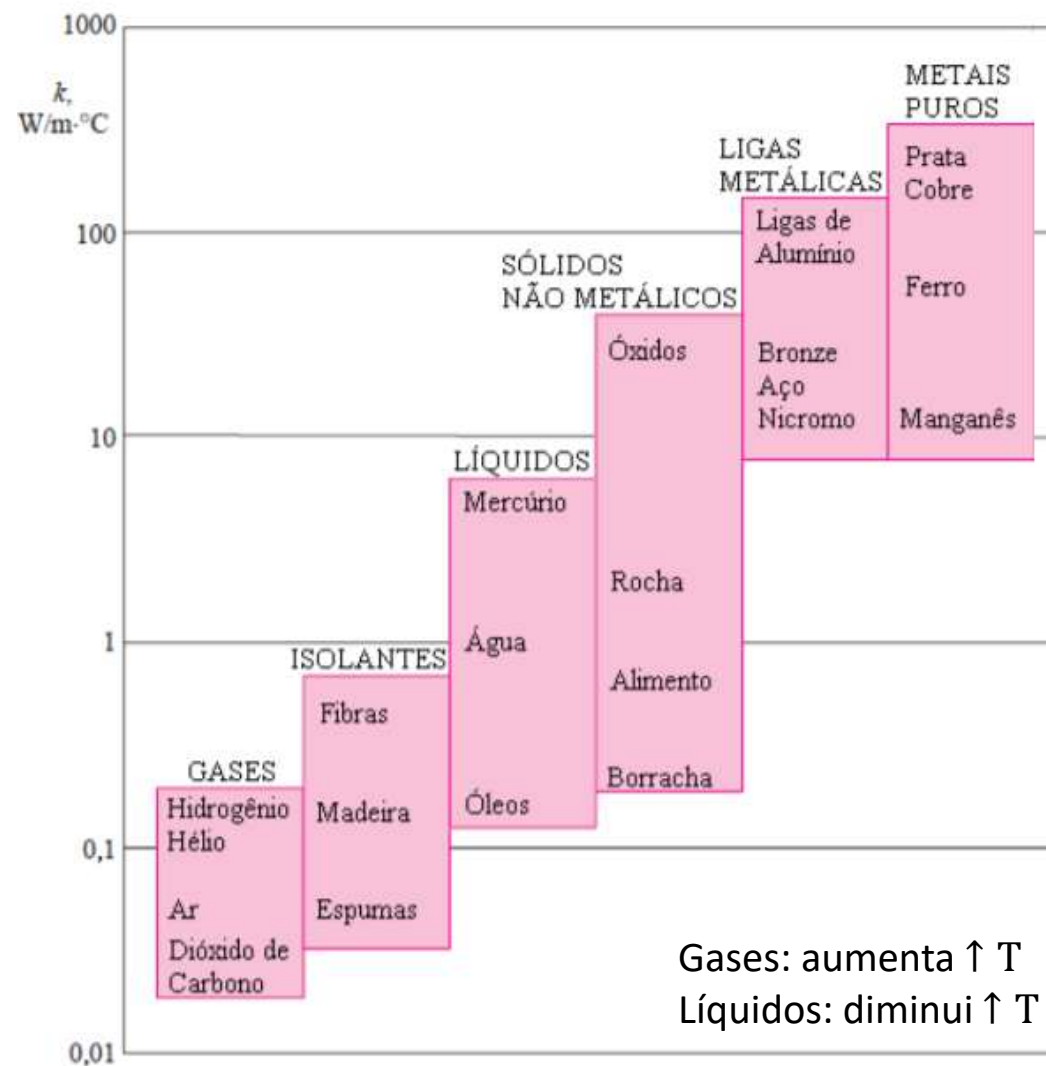
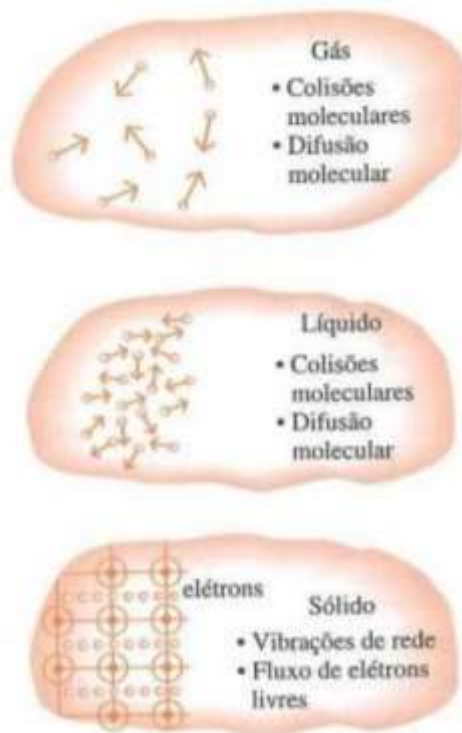
Na camada limite fluidodinâmica, a camada mais veloz é freada pelas camadas mais próximas à parede e essa perda de momento ocorre por difusão (fenômeno molecular).

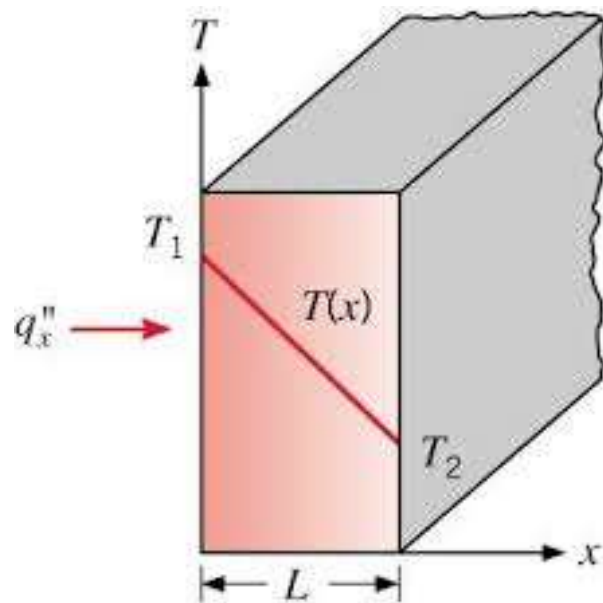
2. Condução

- **Lei de Fourier da Condução Térmica**

2. Condução

- **Condutividade térmica**

Gases: aumenta ↑ T
Líquidos: diminui ↑ T

2. Condução

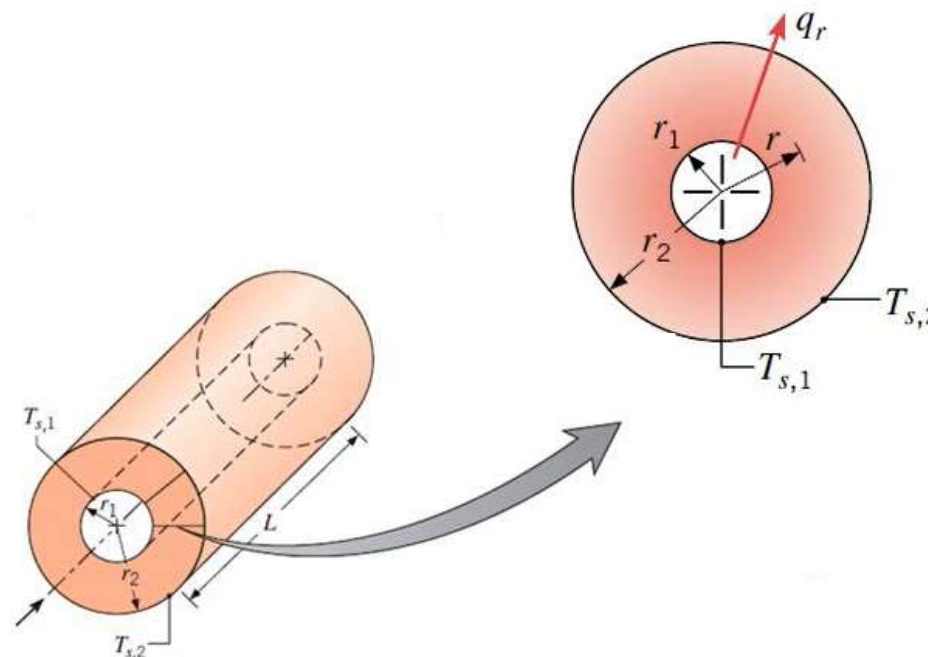
- **Equação da condução para uma Placa Plana**

- Estado estacionário
- Calor na direção x (unidimensional)

$$q_x = -\frac{KA}{L}(T_2 - T_1)$$

2. Condução

- **Exemplo**

Um tubo de aço (k = 24,8 BTU/h in °F) com diâmetro interno de 0,742 in, espessura de 0,154 in e comprimento de 1 in submetido a temperatura externa de 200°F e a temperatura interna de 160°F.

a) Calcule a taxa de troca térmica por ft de tubo.
b) Fluxo térmico baseado na superfície interna.
c) Fluxo térmico baseado na superfície externa.

2. Condução

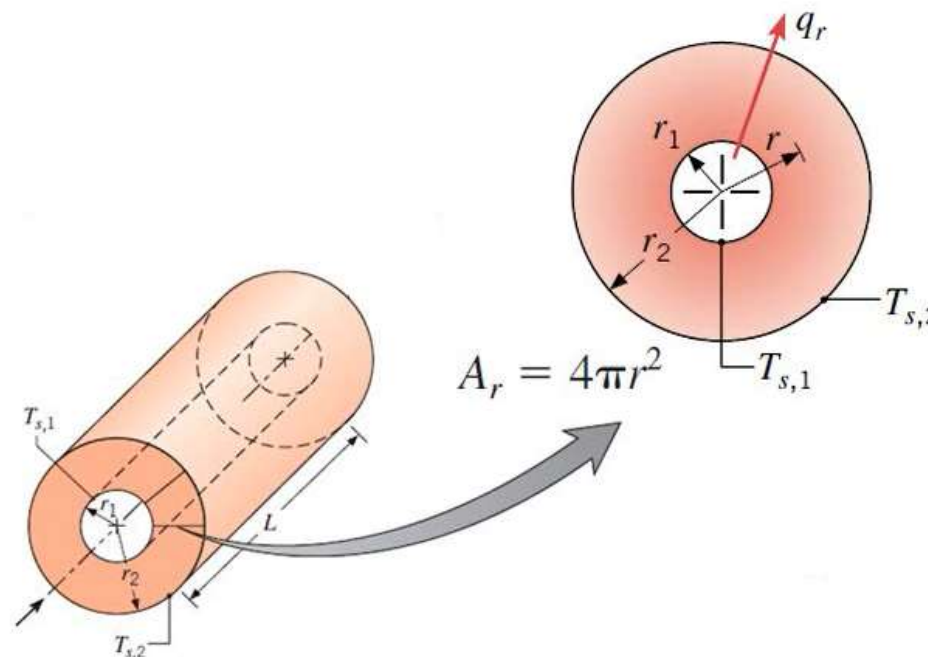
- **Efeito da condutividade térmica variável**

Considerar uma variação linear na forma: $k(T) = k_0(1 + \beta T)$

Logo, obtemos:

$$K_m = k_0\left[1 + \frac{\beta}{2}(T_1 + T_2)\right]$$

$$K_m = \frac{k_0(1 + \beta T_1) + k_0(1 + \beta T_1)}{2}$$

→ Média das condutividades

2. Condução

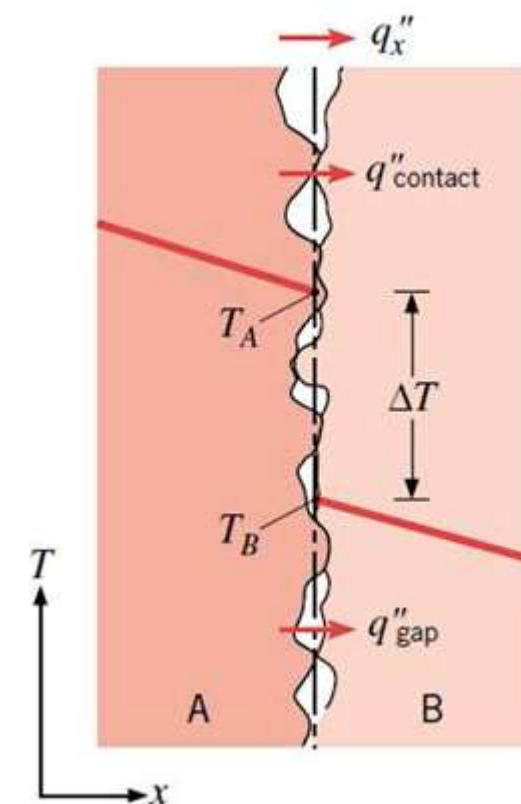
- **Resistência de Contato**

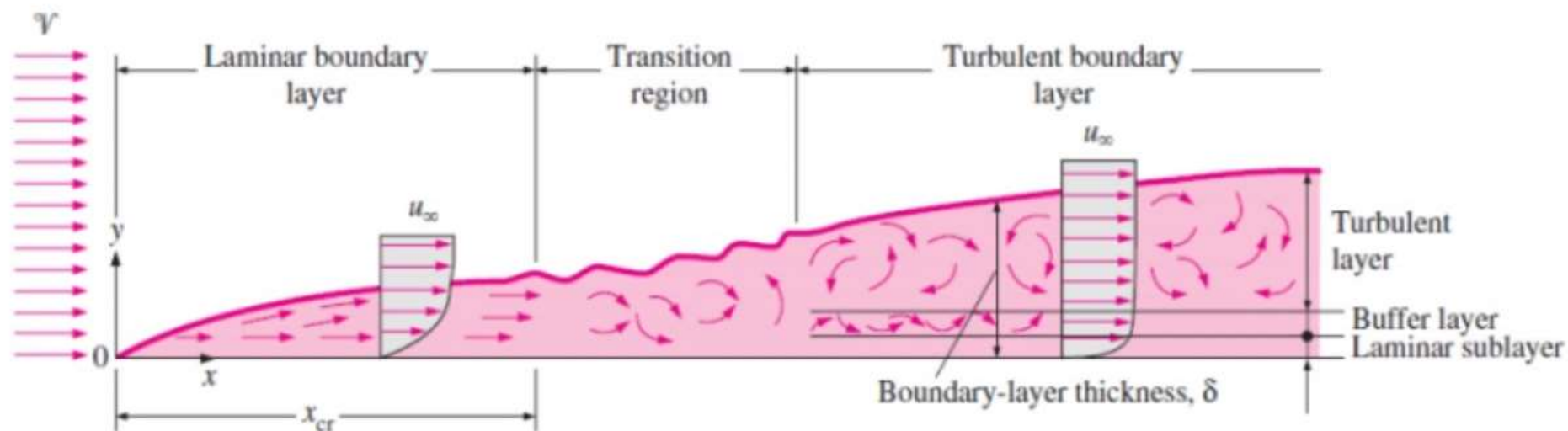
$$R_{contato} = \frac{T_A - T_B}{q_x"}$$

✓ A existência de uma resistência de contato é devido principalmente à efeito de rugosidade da superfície

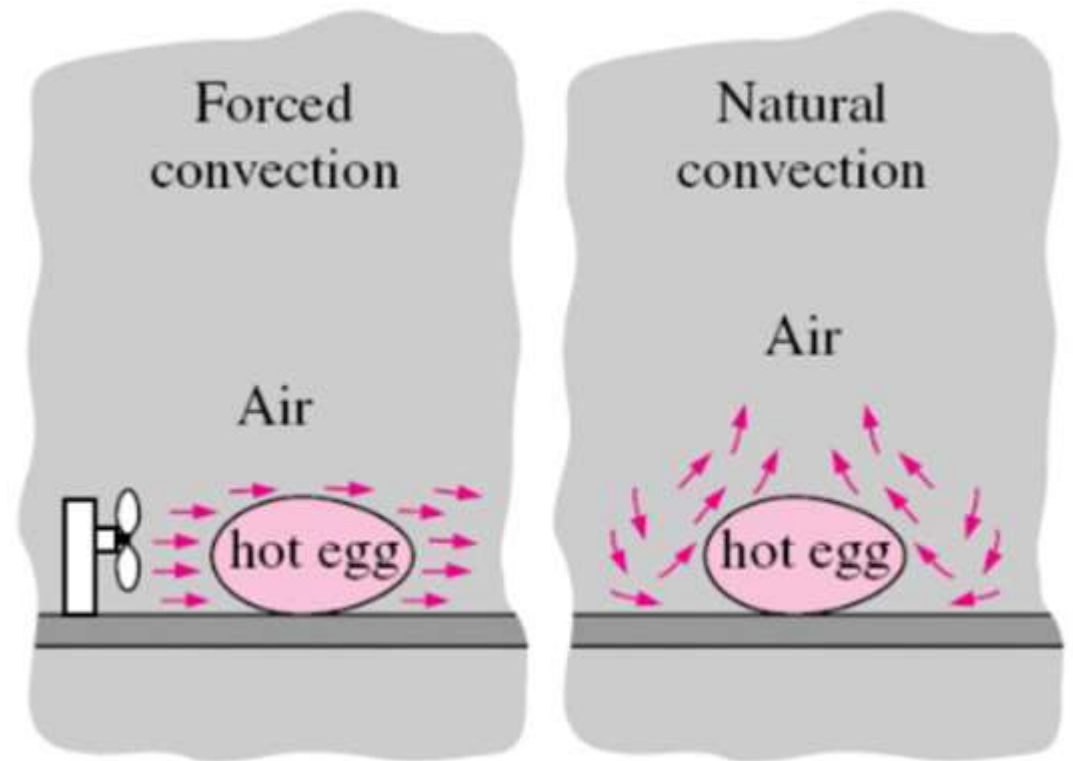
✓ Qualquer sólido justapostos apresentam uma resistência de contato em si

✓ A resistência de contato diminui com o aumento da contrapressão (presilhas ajudam)

✓ Pode ser reduzida por preenchimento com um líquido (ex: pasta térmica)

2. Convecção

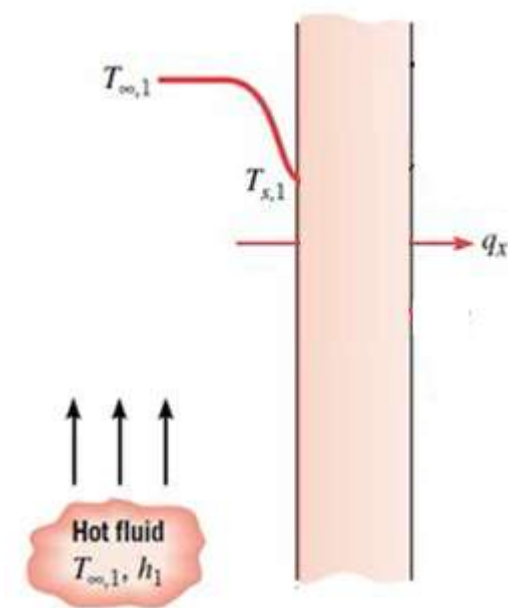
A convecção se dá pelo movimento macroscópico de porções do fluido em contato com a superfície sólida, quando existe uma diferença de temperatura

2. Convecção

Natural: o fluido se move devido as variações de densidade junto a superfície aquecedora/resfriadora

Forçada: atuação externa provoca o movimento do fluido (ventilador, bomba, soprador, etc)

2. Convecção

- **Lei do Resfriamento de Newton**

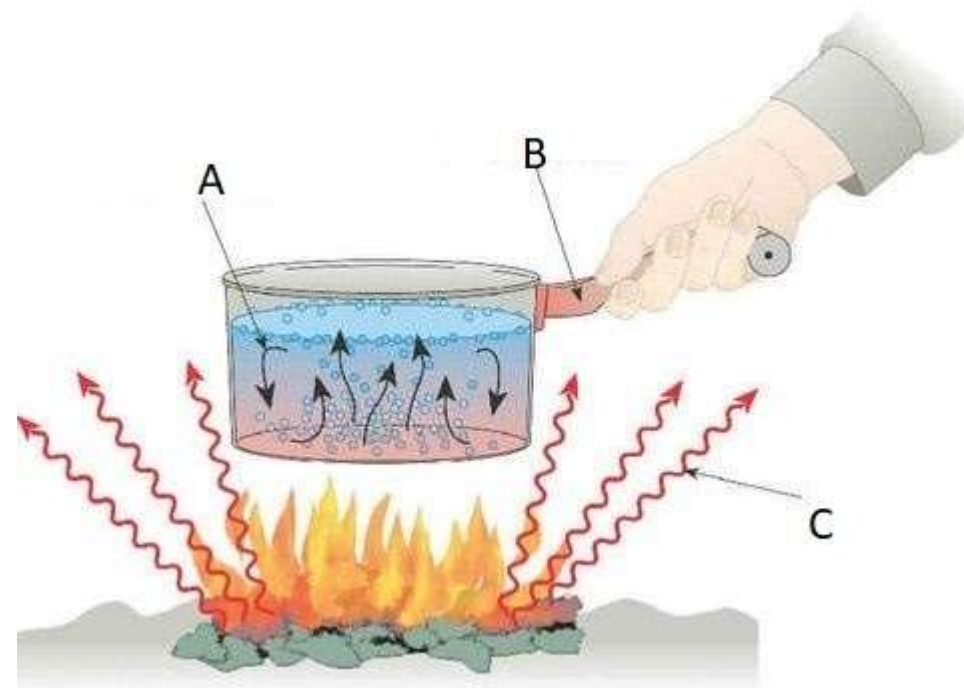
$$q_c = \bar{h}\, A\, \Delta T$$

Geometria da superfície
Propriedades do fluído
Tipo de escoamento
Variação da Temperatura

2. Convecção

- **Lei do Resfriamento de Newton**

PROCESSO		h [W / m².K]
CONVECÇÃO NATURAL	Ar	5 - 30
	Gases	4 - 25
	Líquidos	120 - 1.200
	Água, líquida	20 - 100
	Água em ebulição	120 - 24.000
CONVECÇÃO FORÇADA	Ar	30 - 300
	Gases	12 - 120
	Líquidos	60 - 25.000
	Água, líquida	50 - 10.000
	Água em ebulição	3.000 - 100.000
	Água em condensação	5.000 - 100.000

3. Radiação

- Emissão de energia ou partículas
- Qualquer coisa que está acima do zero absoluto, emite radiação
- Não requer nenhum meio para sua propagação
- A radiação é máxima quando duas superfícies que estão trocando energia estão separadas por um vácuo perfeito

3. Radiação

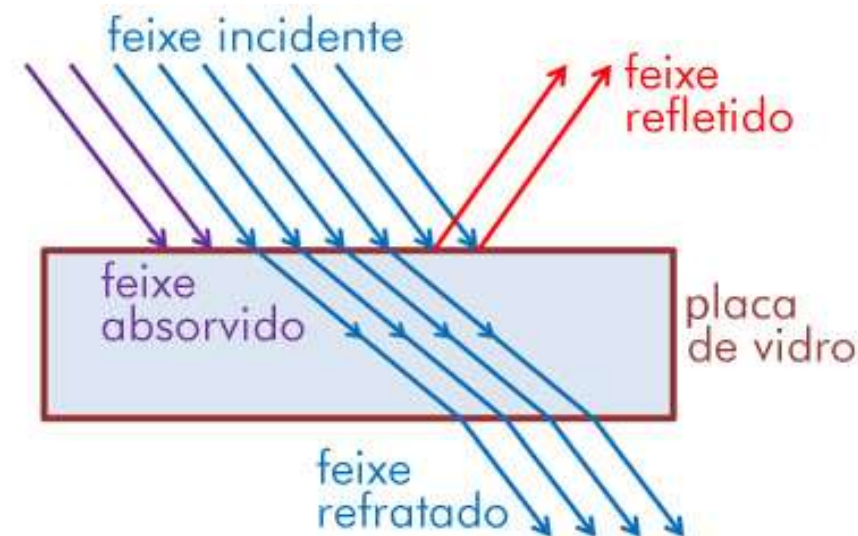
- **Lei de Stefan-Boltzmann**

Corpo Negro

$$q = \sigma\, A\, T^4$$

Corpo Cinzento

$$q = \varepsilon\, \sigma\, A\, T^4$$

Emitância da superfície cinzenta ($\varepsilon < 1$)

- Corpo negro absorve toda a energia (radiação)
- Máximo emissor de radiação (radiador ideal)

3. Radiação

- A transferência de calor por radiação entre dois corpos pode ser expressa como:

$$q = F_{1-2}\,\sigma\,A(T_1^4 - T_2^4)$$

F_{1-2} módulo adimensional

Resistência:

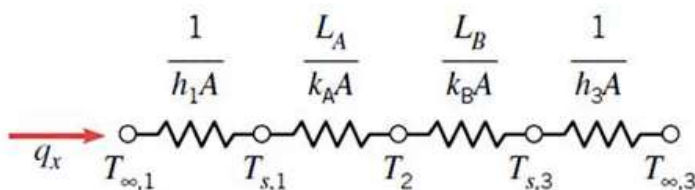
$$q = F_{1-2}\,\sigma\,A(T_1^4 - T_2^4)\,\frac{(T_1 - T_2)}{(T_1 - T_2)}$$

$$q = \frac{(T_1 - T_2)}{R_r} = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{(T_1 - T_2)}{F_{1-2}\,\sigma\,A(T_1^4 - T_2^4)}}$$

$$R_r = \frac{(T_1 - T_2)}{F_{1-2}\,\sigma\,A(T_1^4 - T_2^4)}$$

4. Sistemas combinados de transferência de calor

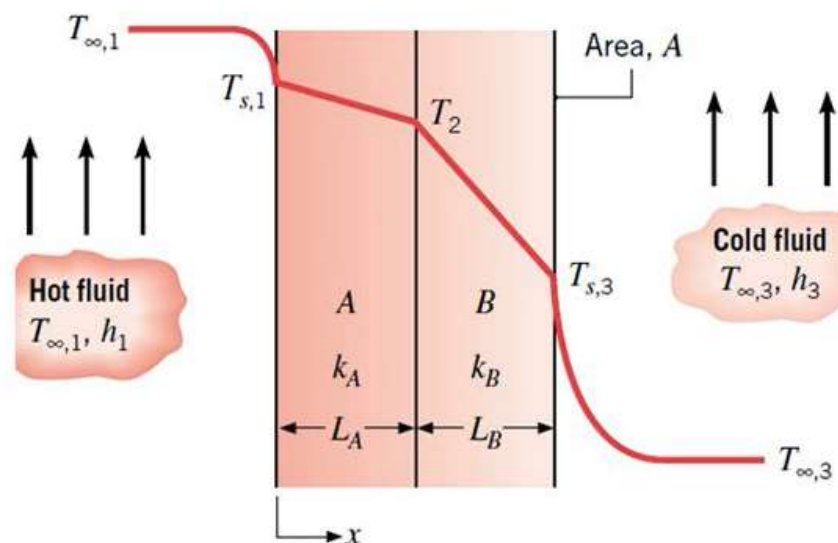
O circuito térmico

$$q_x \rightarrow \; T_{\infty,1} \; \frac{1}{h_1 A} \; T_{s,1} \; \frac{L_A}{k_A A} \; T_2 \; \frac{L_B}{k_B A} \; T_{s,3} \; \frac{1}{h_3 A} \; T_{\infty,3}$$

Parede Composta

Taxa de calor global:

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,3}}{R_{tot}}$$

Resistência térmica total:

$$R_{tot} = \frac{1}{[(1/h_1 A) + (L_A/k_A A) + (L_B/k_B A) + (1/h_3 A)]}$$

4. Sistemas combinados de transferência de calor

- **Serie**

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$
$$R_{eq} = \sum R_n$$

- **Paralelo**

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$
$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum \frac{1}{R_n}$$